

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002014243  
PUBLICATION DATE : 18-01-02

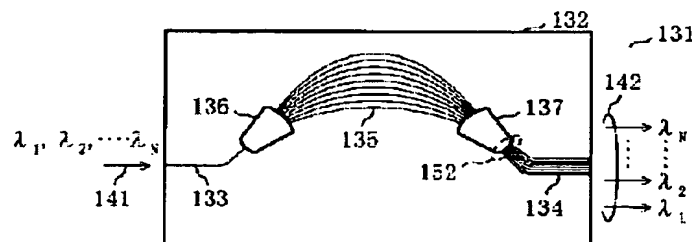
APPLICATION DATE : 29-06-00  
APPLICATION NUMBER : 2000195858

APPLICANT : NEC CORP;

INVENTOR : HOSOI TORU;

INT.CL. : G02B 6/12 G02B 6/293 H04B 10/02  
H04J 14/00 H04J 14/02

TITLE : ARRAY WAVEGUIDE GRATING AND  
OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM  
USING ARRAY WAVEGUIDE GRATING



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To realize an array waveguide element having a flat optical frequency characteristic and an optical communication system using such an array waveguide element.

SOLUTION: In the array waveguide element 131, an input channel waveguide 133 and an output channel waveguide 134, a channel waveguide array 135, a first sectorial slab waveguide 136 which connects the input channel waveguide 133 to the channel waveguide array 135 and a second sectorial slab waveguide 137 which connects the output channel waveguide 134 to the channel waveguide array 135 are formed on a substrate 132. A waveguide part 152 in which the output channel waveguide 134 is connected to the second sectorial slab waveguide 137 is formed in a parabola shape, and then the flat optical frequency characteristic is realized. Also, individual parabola shapes are adjusted in accordance with a wavelength, and the array waveguide element becomes adaptive to the realization of wide bands of optical signals.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-14243

(P2002-14243A)

(43) 公開日 平成14年1月18日 (2002.1.18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 6/12		G 0 2 B 6/12	F 2 H 0 4 7
	6/293		D 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	U
H 0 4 J 14/00			E
	14/02		

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-195858 (P2000-195858)

(22) 出願日 平成12年6月29日 (2000.6.29)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 細井 亨

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100083987

弁理士 山内 梅雄

Fターム (参考) 2H047 KA13 KA15 LA18 TA13

5K002 AA01 AA03 AA06 BA05 BA06

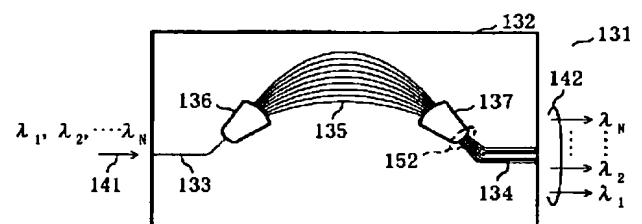
CA03 CA13 DA02 FA01

(54) 【発明の名称】 アレイ導波路格子およびアレイ導波路格子を使用した光通信システム

## (57) 【要約】

【課題】 フラットな光周波数特性を有するアレイ導波路素子およびこのようなアレイ導波路素子を使用した光通信システムを実現する。

【解決手段】 アレイ導波路素子131は、基板132上に入力用チャネル導波路133と出力用チャネル導波路134と、チャネル導波路アレイ135と、入力用チャネル導波路133とチャネル導波路アレイ135を接続する第1の扇型スラブ導波路136と、出力用チャネル導波路134とチャネル導波路アレイ135を接続する第2の扇型スラブ導波路137を形成している。出力用チャネル導波路134が第2の扇型スラブ導波路137と接続する導波路部分152はパラボラ形状となっており、フラットな光周波数特性が実現されている。また個々のパラボラ形状を波長に応じて調整することも可能であり光信号の広帯域化に対応できる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 基板と、

この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、  
前記基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、

前記基板上に配置され、前記第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、  
前記基板上に配置され、前記チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、

前記基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分がパラボラ形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備することを特徴とするアレイ導波路格子。

## 【請求項2】 基板と、

この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、  
前記基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、

前記基板上に配置され、前記第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、  
前記基板上に配置され、前記チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、

前記基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分がステップ関数的に不連続に光導波路幅が変化するマルチモード干渉器としての形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備することを特徴とするアレイ導波路格子。

## 【請求項3】 基板と、

この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、  
前記基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、

前記基板上に配置され、前記第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、  
前記基板上に配置され、前記チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、

前記基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分が矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備することを特徴とするアレイ導波路格子。

【請求項4】 前記パラボラ形状が前記第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整されていることを特徴とする請求項1記載のアレイ導波路格子。

【請求項5】 前記マルチモード干渉器としての形状が前記第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信

号の各波長に応じて個別に調整されていることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項6】 前記矩形界分布励起形状が前記第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整されていることを特徴とする請求項3記載のアレイ導波路格子。

【請求項7】 前記矩形界分布励起形状は、導波路の幅変化開始点における出力用チャネル導波路の境界部分と導波路の中心軸のなす角度 $\theta_0$ が、0度よりも大きく90度よりも小さい値となるような形状であり、このうちテーパ形状を除外した形状となっていることを特徴とする請求項3記載のアレイ導波路格子。

【請求項8】 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、

この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、  
このマルチプレクサから出力される波長分割多重された光信号を伝送する光伝送路と、

この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、

前記光伝送路を前記ノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、

このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信機とを備え、

前記各アレイ導波路格子は、基板と、この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、前記基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記基板上に配置され、前記第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に配置され、前記チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、前記基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分が矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備していることを特徴とする光通信システム。

【請求項9】 複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重された光信号を伝送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重された光信号を各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子を備えており、

これらの各アレイ導波路格子は、基板と、この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、前記基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記基板上に配置され、前記第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、前記基板

上に配置され、前記チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、前記基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分が矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備していることを特徴とする光通信システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はアレイ導波路格子およびアレイ導波路格子を使用した光通信システムに係わり、特に光波長合成分波素子としてのアレイ導波路格子およびこれを使用した波長分割多重伝送方式の光通信システムに関する。

##### 【0002】

【従来の技術】インターネットや電子メールの普及等によって通信ネットワークの利用が大幅に増加しており、大容量の情報伝送を可能にする光通信システムが注目されている。光通信における波長多重度を現状よりも更に向上させることは重要な意味を持っており、光波長合成分波素子がキーデバイスの1つと考えられている。アレイ格子型の光導波路構造を有する光波長合成分波素子は、パッシブな構成で、狭い透過幅と高い消光比を有している。また、多数の光信号を合成分波することができるといった特徴も備えている。

【0003】図13は、従来のアレイ導波路格子の構成を示したものである。アレイ導波路格子10は、基板11上に入力用チャネル導波路12と出力用チャネル導波路13と、全体にU字状に曲がったチャネル導波路アレイ14と、入力用チャネル導波路12とチャネル導波路アレイ14を接続する第1の扇型スラブ導波路15と、出力用チャネル導波路13とチャネル導波路アレイ14を接続する第2の扇型スラブ導波路16を形成している。チャネル導波路アレイ14はこれを構成する各導波路の長さが所定の導波路長差 $\Delta L$ で順次長くなるように構成されている。

【0004】図14は第1の扇型スラブ導波路の入力側および出力側の構成を表わしたものである。入力用チャネル導波路12の各導波路のコアは第1の扇型スラブ導波路15との境界近傍で直線状に広がるテーパ形状をしている。第1の扇型スラブ導波路15との境界近傍におけるチャネル導波路アレイ14の各導波路のコアも、直線状に広がるテーパ形状をしている。

##### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】このような従来のアレイ導波路格子10についてその光周波数特性を調べてみると、各導波路の中心光周波数の近傍で放物線状の損失特性がある。このため温度変化等によってレーザ光源の波長が中心光周波数から変動すると、損失が大幅に増加するという問題があった。このような温度変化等による

出力レベルの急変を防止すると共に、アレイ導波路格子を多段に接続した際に透過幅が狭くなって変調成分がカットされないようにするために、光周波数に対してピークレベルが平坦な透過特性を実現することが求められている。

【0006】また、このようなアレイ導波路格子10を通信網に複数段使用した構成の従来の光通信システムでは、1つのアレイ導波路格子を通過する際の光周波数に対する損失特性（あるいは光透過特性）が複数段のアレイ導波路格子で繰り返され、中心周波数近傍での光周波数に対する損失特性がより急峻な放物線状となる。このため、レーザ光源の波長が中心光周波数から変動した際の影響を受けやすくなったり、変調成分がカットされやすくなったりするといった問題があった。このため、アレイ導波路格子による放物線状の損失特性を改善するために各種の努力が行われているものの、現状よりも向上させることが難しかった。

【0007】そこで本発明の目的は、フラットな光周波数特性を有するアレイ導波路格子を提供することにある。

【0008】本発明の他の目的は、フラットな光周波数特性を有するアレイ導波路格子を使用した光通信システムを提供することにある。

##### 【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明では、(イ)基板と、(ロ)この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、(ハ)基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、(ニ)基板上に配置され、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、(ホ)基板上に配置され、チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、(ヘ)基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分がパラボラ形状をなしている第2のチャネル導波路とをアレイ導波路格子に具備させる。

【0010】すなわち請求項1記載の発明では、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分をパラボラ形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。

【0011】請求項2記載の発明では、(イ)基板と、(ロ)この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、(ハ)基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、(ニ)基板上に配置され、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、(ホ)基板上に配置され、チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、

(ハ) 基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分がステップ関数的に不連続に光導波路幅が変化するマルチモード干渉器としての形状をなしている第2のチャネル導波路とをアレイ導波路格子に具備させる。

【0012】すなわち請求項2記載の発明では、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分をステップ関数的に不連続に光導波路幅が変化するマルチモード干渉器としての形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。

【0013】請求項3記載の発明では、(イ) 基板と、(ロ) この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、(ハ) 基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、(ニ) 基板上に配置され、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、(ホ) 基板上に配置され、チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、(ヘ) 基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分が矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状をなしている第2のチャネル導波路とをアレイ導波路格子に具備させる。

【0014】すなわち請求項3記載の発明では、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分を矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。

【0015】請求項4記載の発明では、請求項1記載のアレイ導波路格子で、パラボラ形状が第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整されていることを特徴としている。

【0016】すなわち請求項4記載の発明では、パラボラ形状を第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整することで、アレイ導波路格子に使用する波長広帯域化を実現している。

【0017】請求項5記載の発明では、請求項2記載のアレイ導波路格子で、マルチモード干渉器としての形状が第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整されていることを特徴としている。

【0018】すなわち請求項5記載の発明では、マルチモード干渉器としての形状が第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整されることで、アレイ導波路格子に使用する波長広帯域化を実現している。

【0019】請求項6記載の発明では、請求項3記載のアレイ導波路格子で、矩形界分布励起形状が第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に

じて個別に調整されていることを特徴としている。

【0020】すなわち請求項6記載の発明では、矩形界分布励起形状が第1のチャネル導波路に入力する多重化された光信号の各波長に応じて個別に調整されることで、アレイ導波路格子に使用する波長広帯域化を実現している。

【0021】請求項7記載の発明では、請求項3記載のアレイ導波路格子で、矩形界分布励起形状は、導波路の幅変化開始点における出力用チャネル導波路の境界部分と導波路の中心軸のなす角度 $\theta_0$ が、0度よりも大きく90度よりも小さい値となるような形状であり、このうちテーパ形状を除外した形状となっていることを特徴としている。

【0022】すなわち請求項7記載の発明では、矩形界分布励起形状は、導波路の幅変化開始点における出力用チャネル導波路の境界部分と導波路の中心軸のなす角度 $\theta_0$ が、0度よりも大きく90度よりも小さい値となるような形状であることを明確にし、このうち機能しないテーパ形状を除いている。

【0023】請求項8記載の発明では、(イ) 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、(ロ) この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、(ハ) このマルチプレクサから出力される波長分割多重された光信号を伝送する光伝送路と、(ニ) この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、(ホ) 光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、(ヘ) このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信機とを備え、(ト) 各アレイ導波路格子は、基板と、この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、基板上に配置され、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、基板上に配置され、チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分が矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備していることを特徴としている。

【0024】すなわち請求項8記載の発明では、光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと

光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信機とを備えたライン状の通信システムで、これを構成する各アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分を矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。

【0025】請求項9記載の発明では、(イ)複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重された光信号を各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子を備えており、(ロ)これらの各アレイ導波路格子は、基板と、この基板上に配置された第1のチャネル導波路と、基板上に配置され、各導波路の長さが所定の導波路長差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、基板上に配置され、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイを接続する第1のスラブ導波路と、基板上に配置され、チャネル導波路アレイにおける第1のスラブ導波路の接続されていない側の端部と一端部を接続する第2のスラブ導波路と、基板上に配置され、第2のスラブ導波路の他端と接続されこの接続箇所の導波路部分が矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状をなしている第2のチャネル導波路とを具備していることを特徴としている。

【0026】すなわち請求項9記載の発明では、複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重された光信号を各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子を備えた環状の通信システムで、これを構成する各アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分を矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。

【0027】

【発明の実施の形態】

【0028】

【実施例】以下実施例につき本発明を詳細に説明する。

【0029】図1は本発明の一実施例における光通信システムの構成の概要を表わしたものである。この光通信システムで、送信側に配置されたSONET (Synchronous Optical Network) 装置 (光送信機) 101から送り出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号は光マルチプレクサ (MUX) 102で多重された後、ブースタアンプ103で増幅されて光伝送路104に送り出され

る。光マルチプレクサ102は、アレイ導波路格子 (AWG: arrayed waveguide) で構成されている。多重化された光信号105はインラインアンプ106で適宜増幅された後、プリアンプ107を経て光デマルチプレクサ (DMUX) 108で元の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に分離され、SONET装置 (光受信機) 109で受信されるが、その途中の光伝送路104に適宜の数のノード (OADM) 111<sub>1</sub> ~ 111<sub>N</sub>が配置されている。これらのノード111<sub>1</sub> ~ 111<sub>N</sub>では、所望の波長の光信号が入出力されることになる。

【0030】図2は、ノードの構成の概要を示したものである。ここでは第1のノード111<sub>1</sub>を示しているが、第2 ~ 第Mのノード111<sub>2</sub> ~ 111<sub>M</sub>も原理的には同一の構成となっている。図1に示した光伝送路104は、第1のノード111<sub>1</sub>の入力側アレイ導波路格子 (AWG) 121に入力されて波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号に分離され、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ ごとに設けられた2入力2出力の光スイッチ122<sub>1</sub> ~ 122<sub>N</sub>によって、それぞれの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号のノード側受信部126に取り込む (drop) と共に、ノード側送信部124から送信した光信号を挿入する (Add)。2入力2出力の光スイッチ122<sub>1</sub> ~ 122<sub>N</sub>の出力側はそれぞれに対応して設けられたアッテネータ (ATT) 127<sub>1</sub> ~ 127<sub>N</sub>によってゲインを調整された後に出力側アレイ導波路格子128に入力されるようになっている。出力側アレイ導波路格子128は入力側アレイ導波路格子121と逆の構成の素子であり、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号を多重して光伝送路104に光信号105として送り出すことになる。

【0031】このように図2に示した第1のノード111<sub>1</sub>を始めとして、図1に示した第2 ~ 第Mのノード111<sub>2</sub> ~ 111<sub>M</sub>および光マルチプレクサ102ならびに光デマルチプレクサ108は共にアレイ導波路格子を使用している。したがって、光信号105のチャネル数Nが多くなる要請の下で、アレイ導波路格子のよりフラットな光周波数特性が求められることになる。

【0032】図3は、本実施例で使用されるアレイ導波路格子の外観を表わしたものである。本実施例のアレイ導波路格子131は、基板132上に入力用チャネル導波路133と出力用チャネル導波路134と、放物線状に曲がったチャネル導波路アレイ135と、入力用チャネル導波路133とチャネル導波路アレイ135を接続する第1の扇型スラブ導波路136と、出力用チャネル導波路134とチャネル導波路アレイ135を接続する第2の扇型スラブ導波路137を形成している。チャネル導波路アレイ135はこれを構成する各導波路の長さが所定の導波路長差 $\Delta L$ で順次長くなるように構成されている。入力用チャネル導波路133には波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の多重化された光信号141が入力され、出力用チャネル導波路134から各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に分離された光信号

142が出力されるようになっている。

【0033】本実施例のアレイ導波路格子131は、基板132として半導体（シリコン）基板を使用している。そして、下層クラッド層としてリン、ゲルマニウム、チタン、ボロン、フッ素などを添加した石英系材料を、火炎堆積法、CVD法、スパッタ法、スピコート法、電子ビーム蒸着法などの手法を使用して厚さ数十 $\mu\text{m}$ 堆積している。次に下層クラッド層よりも屈折率が高くなるように不純物を添加した石英のコア層を3～8 $\mu\text{m}$ 程度堆積して、図3に示すような光導波路形状のコア層を作製する。コア層の作製には、フォトリソグラフィを用いて微細領域を適切なマスク材に転写し、続いて反応性イオンエッチング（RIE）装置や反応性イオンビームエッチング（RIIBE）装置等のドライエッチング法によって不用領域を除去して行う。最後に、再び屈折率をコア層よりも低く設定した前記した石英系材料を用いて、厚さ数十 $\mu\text{m}$ の上層クラッド層を堆積する。

【0034】図4は、第1の扇型スラブ導波路とこれに接続する入力用チャネル導波路およびチャネル導波路アレイの接続部分の構成を表わしたものである。入力用チャネル導波路133は第1の扇型スラブ導波路136に接続する側が長さ $d_1$ にわたってテーパ状に広がっている。入力用チャネル導波路133のコア開口幅（光導波路幅）は $W_t$ であり、第1の扇型スラブ導波路136の曲率半径は $R_1$ である。第1の扇型スラブ導波路136に接続するチャネル導波路アレイ135はコア幅が $W_c$ で第1の扇型スラブ導波路136に向かう側が長さ $d_2$ にわたってそれぞれテーパ状に広まっている。チャネル導波路アレイのコア開口幅は $D$ で、チャネル導波路アレイ135の間隔は $S_2$ である。このような第1の扇型スラブ導波路の入力側および出力側の構成は、図14に示した従来の構成と特に異なるところはない。

【0035】図5は、第2の扇型スラブ導波路とこれに接続するチャネル導波路アレイおよび出力用チャネル導波路の接続部分の構成を表わしたものである。チャネル導波路アレイ135は第2の扇型スラブ導波路137に

$$W(z) = \{2\alpha\lambda/n_{\text{eff}}(L-Z) + W_c^2\}^{1/2} \dots\dots (1)$$

ここで $\alpha$ は定数、 $\lambda$ は光波長、 $n_{\text{eff}}$ は実効屈折率、 $L$ はパラボラ部分の長さ、 $W_c$ は出力用チャネル光導波路134の幅である。

【0040】この(1)式でコア開口幅 $W_p$ は、第2の扇型スラブ導波路137と出力用チャネル導波路134との境界で生じるガウシアン分布の幅に比べて1～5倍の幅となるように大きく設定されている。したがって、温度変化等によってレーザ光源の周波数 $f$ が多少変動しても出力用チャネル導波路134へ結合する光の量はほぼ一定に保たれる。このため、光源の周波数 $f$ が変化しても分波出力がほぼ一定となるような平坦な光周波数特性を実現することができる。

【0041】ところで本実施例のアレイ導波路格子で

接続する側が長さ $d_3$ にわたってテーパ状に広がっている。このテーパ状に広がる前のチャネル導波路アレイ135のコア幅は $W_c$ であり、コア開口幅は $D$ である。第2の扇型スラブ導波路136の曲率半径は $R_2$ である。チャネル導波路アレイ135の間隔は $S_3$ である。

【0036】第2の扇型スラブ導波路137に接続する出力用チャネル導波路134の導波路部分は、長さ $d_4$ にわたってパラボラ形状となっている。パラボラ形状の導波路部分151と接続されたコア幅は $W_c$ であり、コア開口幅は $W_p$ である。本実施例ではパラボラ形状の導波路部分151が図3で示した光信号142の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に応じてその形状を変化させている。長さ $d_4$ を便宜的に長さ $L$ で表わすことにする。

【0037】図3に示したアレイ導波路格子131の入力用チャネル導波路133に入射された光は、図4に示したそのテーパ状の導波路部分を通過する際に、ほぼガウシアン分布の界分布をなしたまま第1の扇型スラブ導波路136方向に進行する。この界分布の広がり、テーパ終端の光導波路幅 $W_t$ で決定する。この界分布を持った光は、第1の扇型スラブ導波路136で横方向に広がって進み、チャネル導波路アレイ135の各導波路を励振する。そして、第2の扇型スラブ導波路137において出力用チャネル導波路134の光周波数 $f$ あるいは長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に対応した位置にそれぞれ集光することになる。このとき、相反の定理によって、第2の扇型スラブ導波路137と出力用チャネル導波路134との境界における光分布もガウシアン分布となる。

【0038】図6は、パラボラ形状の導波路部分を具体的に表わしたものである。パラボラ形状の導波路部分151は、図5で説明したようにコア開口幅が $W_p$ 、長さが $L$ でパラボラ形状の導波路部分151と接続されたコア幅は $W_c$ となっている。導波路部分151の任意の位置の幅を $W(z)$ とすると、これは次の(1)式で表わすことができる。

【0039】

は、分波した各光周波数 $f$ に対応して、既に説明したように各出力用チャネル光導波路134のパラボラ形状のパラメータを補正することで、各チャネル間で差異の僅かな透過光周波数特性を実現している。

【0042】図7は、パラボラ形状の係数 $\alpha$ に対する透過幅と挿入損失の変化の計算を、光周波数特性の平坦化を行っていないものと比較して示したものである。縦軸は係数 $\alpha$ を変化させてパラボラ形状を変えていったときの透過特性の平坦性と過剰損失を表わしており、パラボラ形状の係数 $\alpha$ が1.10近傍で最も平坦な特性が得られる。アレイ導波路格子131では、次に説明するように入力用チャネル導波路133の第1の扇型スラブ導波路136との接続箇所をパラボラ形状の導波路部分とす

ることで平坦性を確保する提案もあるが、本実施例のように出力用チャネル導波路134が第2の扇型スラブ導波路137と接続する導波路部分152 (図3) をパラボラ形状とすることで同様の効果を得ることがわかる。

【0043】図8は、入力用チャネル導波路の第1の扇型スラブ導波路との接続箇所をパラボラ形状の導波路部分とする提案のその接続部分の構成を表わしたものである。この図8では本発明の実施例と区別するために図13と同一部分には図13と同一の符号を付している。特開平9-297228号公報に開示されたこの提案では、第1の扇型スラブ導波路15との境界近傍における入力用チャネル導波路12の各導波路のコアがパラボラ形状をしている。これに対して、第1の扇型スラブ導波路15との境界近傍におけるチャネル導波路アレイ14の各導波路のコアは、直線状に広がるテーパ形状をしている。ここで、第1の扇型スラブ導波路15の曲率半径は符号Rで示しており、入力用チャネル導波路12のパラボラ状の導波路のコア開口幅は符号Wで示している。入力用チャネル導波路12の間隔は符号 $S_1$ で示しており、パラボラ形状の導波路部分の長さは $l_1$ で示している。チャネル導波路アレイ14のテーパ形状の導波路のコア開口幅は符号Dで示しており、チャネル導波路部分のコア幅は符号Wcで示している。チャネル導波路アレイ14の間隔は符号 $S_2$ で示しており、テーパ形状の導波路の長さを符号 $d_2$ で示している。この図8に示す提案でも、光周波数に対してピークレベルが平坦な透過特性を実現することができるとされている。

【0044】しかしながらこの図8に示した提案では、大容量の情報伝送を可能にするために波長多重度を更に向上させようとしても限界がある。これを次に説明する。図8に示した提案のアレイ導波路格子では、入射側にパラボラ状の導波路部分がある。したがって、チャネル導波路アレイ14側のテーパ幅としてのコア開口幅Dを波長に応じて個別設定が可能であるとしても、パラボラ状の導波路のコア開口幅Wはそれぞれの波長に共通した1つのパラボラ状の導波路部分を使用しているので、共通にならざるを得ない。また、先の(1)式で示した係数 $\alpha$ も一定となる。

【0045】これに対して本実施例のように各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に対応する位置に個別にパラボラ形状の導波路部分151が存在する場合には、コア開口幅(光導波路幅)Wtが共通であるが、コア開口幅Wpを各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に合わせて設定可能である。また、係数 $\alpha$ もこれらに応じて個別設定が可能である。このため、図8に示した提案と比べると、設計の自由度が大きい。したがって、光周波数fに対して透過光周波数特性の微妙な調整を行うことが可能になる。

【0046】このような光周波数fに対する透過光周波数特性の微妙な調整について、説明を補足する。アレイ導波路格子の光透過特性の波長依存性は、従来から使用

されている波長範囲では小さいが広帯域化の進展と共に波長依存性が大きくなって特性差を無視することができなくなっている。波長依存性の傾向としては、一般に短波長側に行くに従って高次モードが励振されやすくなり、また長波長側に行くに従って導波しにくくなり、カットオフという問題が生じる。アレイ導波路格子では高次モードである矩形界分布の励起を用いている。従って、短波長側に行くほど矩形界分布は励起されやすくなり、光透過特性における平坦性は増加する。逆に長波長側に行くほど光透過特性における平坦性は減少する。挿入損失の一要因である伝搬損失については長波長側ほど増加する。短波長側については、高次モードが励起されないある波長域までは減少する。

【0047】以上のような特性の波長依存性を解消するためには、短波長領域で、平坦性の僅かな増加と損失の僅かな減少(更に短波長側に進むと反対に増加傾向になる。)を補正するように係数 $\alpha$ 、コア開口幅Wt、Wpを調整するようにすればよい。また、長波長側では平坦性が僅かな減少と損失の僅かな増加を補正するようにこれらの係数 $\alpha$ 、コア開口幅Wt、Wpを調整するようにすればよい。

【0048】図9は、透過周波数特性の各種計算結果を示したものである。この図で曲線161は図13および図14で説明した平坦化を行っていない無平坦化の場合の各光波長に対する光出力を示したものである。また、曲線162は係数 $\alpha$ を0.95とした場合の各光波長に対する光出力を示し、曲線163は係数 $\alpha$ を1.1とした場合の各光波長に対する光出力を示し、曲線164は係数 $\alpha$ を1.2とした場合の各光波長に対する光出力を示している。

【0049】係数 $\alpha$ を1.1とした場合の曲線163を基準にして考察する。係数 $\alpha$ を0.95とした曲線162は、透過幅が同一のままで損失を変化させたものである。一方、曲線163で示した透過特性に対して損失が同一のままで透過幅を変化させたものが、係数 $\alpha$ を1.2とした曲線164で示した透過特性となる。このように本実施例のアレイ導波路格子131 (図3) の場合には、適切なパラメータに調整することで、各チャネル間における透過周波数特性の差異を補正して僅差に追いつむことができる。

【0050】したがって、図8で提案されたアレイ導波路格子よりも広帯域動作性を向上したアレイ導波路格子を実現することができるだけでなく、図1に示したような光通信システムでノード111を多段に使用しても透過幅が狭くなったり変調成分がカットされるという不都合を解消することができる。

#### 【0051】変形例

【0052】図10は、本発明の変形例としてMMI光導波路を使用したアレイ導波路格子の要部を示したものである。この図10に示した部分は、図3における出力



用チャネル導波路134が第2の扇型スラブ導波路137と接続する導波路部分152と同一範囲を示している。MMI (Multi-Mode Interference: マルチモード干渉器) 光導波路は、ステップ関数的に不連続に光導波路幅が変化するような形状をなしている。したがって、第2の扇型スラブ導波路137に接続する出力用チャネル導波路134の導波路部分201をMMI光導波路とすることで、同様にこの導波路部分をテーパ状とした場合の不都合を解消することができる。

【0053】ここで導波路部分201はコア開口幅が $W_m$ であり、長さが $L_m$ である。これらの値は各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に合わせて設定可能であり、これにより図8で提案されたアレイ導波路格子よりも波長多重度を向上させることができる。

#### 【0054】発明の変形可能性

【0055】図11は、第2の扇型スラブ導波路に接続する出力用チャネル導波路の形状の可能性を考察したものである。この図で実線は図10で説明したMMI光導波路の形状を示している。このMMI光導波路211で、出力用チャネル導波路134は光導波路幅の変化開始位置から外側に直角に折れ曲がっている。これに対して図4等にした従来の第1の扇型スラブ導波路136に接続する入力用チャネル導波路の場合には、図11で2点鎖線214で示したように90度よりも小さい所定の角度 $\theta_1$ だけ外側に折れ曲がったテーパ状となっている。

【0056】既に説明したように、出力用チャネル導波路134の第2の扇型スラブ導波路137と接続する導波路部分がテーパ状となっている場合には光分布がガウシアン分布となる。したがって、このように導波路部分がテーパ状となっているような形状を除いた曲線、たとえば曲線215、216は同様に光源の周波数 $f$ が変化しても分波出力がほぼ一定となるような平坦な光周波数特性を実現することができる。徐々に幅が1次関数に変化する形状としてのテーパ形状は、高次モードでの励振が起こらない。このようにテーパ形状は断熱的な変化を行うために、矩形界分布励起形状としては不適切であり、除外している。

【0057】したがって、3次、4次等の高次関数あるいはハミング関数等の関数で、上記した角度条件を満足する形状を実現することにより、平坦な光周波数特性を得ることが同様に可能になる。一般にこのような矩形界分布励起形状は、導波路の幅変化開始点における出力用チャネル導波路134の境界部分と導波路の中心軸となす角度 $\theta_w$ が、次の角度範囲となるような形状である。ただし、テーパ形状は除外する。

$$0^\circ < \theta_w < 90^\circ$$

【0058】ここで下限の $0^\circ < \theta_w$ の条件は、高次モードの励振が必要なことから光導波路を広くとる必要があることに起因する。また、上限の $\theta_w < 90^\circ$ につい

ては幅変化領域に到達する前で不必要な結合を防ぐ主旨である。

【0059】また実施例および変形例では出力用チャネル導波路134の第2の扇型スラブ導波路137と接続する導波路部分が1種類の曲線あるいは直線形状と接続する場合を示したがこれに限るものではない。この例を次に説明する。

【0060】図12は、出力用チャネル導波路が第2の扇型スラブ導波路と接続する部分が第1～第3の領域を連結した形状を有している場合を示したものである。このうち第1の領域231は一定の幅 $W_1$ からなる導波路部分であり、第2の領域232は幅 $W_1$ からこれよりも広い幅 $W_2$ にテーパ状に広がる導波路部分である。第3の領域233は第2の領域232と幅 $W_2$ で接続し、これよりも大きな幅 $W_3$ にまで拡大する形状となっており、この形状は矩形界分布を励起する矩形界分布励起形状となっている。なおこの図では出力用チャネル導波路の幅 $W_1$ と $W_2$ は後者の方が大きくなる場合を示したが、これに限るものではない。すなわち、幅 $W_1$ と $W_2$ が等しくてもよいし、幅 $W_1$ の方が幅 $W_2$ よりも大きい場合であってもよい。また、第2の領域232は必ずしも直線的な変化を示す形状である必要はなく、第1の領域231と第2の領域232を滑らかに接続する曲線形状であってもよいことは当然である。

【0061】なお、以上説明した実施例および変形例では図1に示したように光送信機と光受信機の間を結ぶ伝送路上に複数のアレイ導波路格子を配置した光通信システムを説明した。このような直線的な伝送路を使用した光通信システムに本発明を適用することができるだけでなく、複数のノードあるいはアレイ導波路格子を環状に配置した光通信システムに対しても本発明を適用することができることは当然である。

【0062】更に実施例ではスラブ導波路として扇型スラブ導波路を使用した例について説明したが、その形状が扇型に限るものでないことも当然である。

#### 【0063】

【発明の効果】以上説明したように請求項1および請求項4記載の発明によれば、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分をパラボラ形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。しかもパラボラ形状はアレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分なので、これらのパラボラ形状を対応する波長に応じて調整しておくことができ、光信号の広帯域化に対応することができるという優れた効果がある。

【0064】また、請求項2および請求項5記載の発明によれば、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分をステップ関数的に不連続に光導波路幅が変化するマルチモ

ード干渉器としての形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。しかもマルチモード干渉器としての形状はアレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分なので、これらのマルチモード干渉器としての形状を対応する波長に応じて調整しておくことができ、光信号の広帯域化に対応することができるという優れた効果がある。

【0065】更に請求項3、請求項6および請求項7記載の発明によれば、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分を矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状とすることでフラットな光周波数特性を実現している。しかも矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状はアレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分なので、これらの矩形界分布励起形状を対応する波長に応じて調整しておくことができ、光信号の広帯域化に対応することができるという優れた効果がある。

【0066】また請求項8記載の発明によれば、光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信機とを備えたライン状の通信システムで、これを構成する各アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分を矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状とすることでフラットな光周波数特性を実現することができるだけでなく、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分なので、これらの矩形界分布励起形状を対応する波長に応じて調整しておくことができ、光信号の広帯域化に対応することができるという優れた効果がある。

【0067】更に請求項9記載の発明によれば、複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重された光信号を伝送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重された光信号を各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重するアレイ導波路格子を備えた環状の通信システムで、これを構成する各アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続する第2のチャネル導波路の導波路部分を矩形の界分布を励起する矩形界分布励起形状とすることでフラットな光周波数特性を実現することができるだけでなく、アレイ導波路格子の第2のスラブ導波路の出力側と接続

する第2のチャネル導波路の導波路部分なので、これらの矩形界分布励起形状を対応する波長に応じて調整しておくことができ、光信号の広帯域化に対応することができるという優れた効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における光通信システムの構成の概要を表わしたシステム構成図である。

【図2】本実施例の光通信システムに使用されるノードの構成の概要を示したブロック図である。

【図3】本実施例のアレイ導波路格子の外観を表わした斜視図である。

【図4】本実施例で第1の扇型スラブ導波路とこれに接続する入力用チャネル導波路およびチャネル導波路アレイの接続部分の構成を表わした平面図である。

【図5】本実施例で第2の扇型スラブ導波路とこれに接続するチャネル導波路アレイおよび出力用チャネル導波路の接続部分の構成を表わした要部平面図である。

【図6】本実施例のパラボラ形状の導波路部分を具体的に表わした説明図である。

【図7】パラボラ形状の係数 $\alpha$ に対する透過幅と挿入損失の変化の計算を、光周波数特性の平坦化を行っていないものと比較して示した特性図である。

【図8】入力用チャネル導波路の第1の扇型スラブ導波路との接続箇所をパラボラ形状の導波路部分とする提案の接続部分の構成を表わした要部平面図である。

【図9】透過周波数特性の各種計算結果を示した特性図である。

【図10】本発明の変形例としてMMI光導波路を第2の扇型スラブ導波路の出力側に使用したアレイ導波路格子の要部を示した要部平面図である。

【図11】第2の扇型スラブ導波路に接続する出力用チャネル導波路の形状の変形可能性を示した説明図である。

【図12】出力用チャネル導波路が第2の扇型スラブ導波路と接続する部分が第1～第3の領域を連結した形状を有している場合を変形例として示した説明図である。

【図13】従来のアレイ導波路格子の構成を示した斜視図である。

【図14】図13に示したアレイ導波路格子における第1の扇型スラブ導波路の入力側および出力側の構成を表わしたものである。

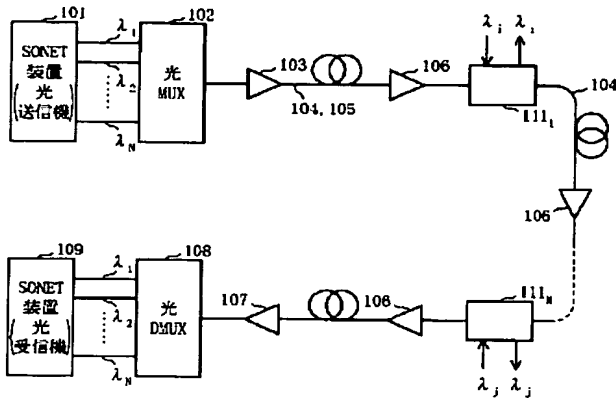
#### 【符号の説明】

- 101 SONT装置（光送信機）
- 102 光マルチプレクサ
- 108 光デマルチプレクサ
- 109 SONT装置（光受信機）
- 111 ノード
- 121 入力側アレイ導波路格子（AWG）
- 128 出力側アレイ導波路格子
- 133 入力用チャネル導波路

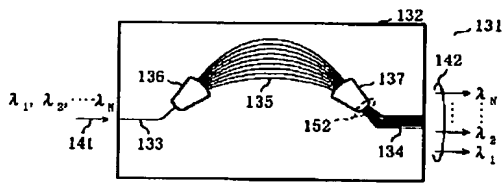
- 134 出力用チャネル導波路  
 135 チャネル導波路アレイ  
 136 第1の扇型スラブ導波路  
 137 第2の扇型スラブ導波路

- 141 波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の多重化された光信号  
 142 各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に分離された光信号  
 151 ハラボラ形状の導波路部分  
 152、201 導波路部分

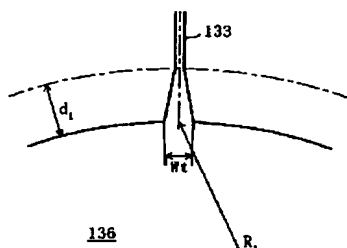
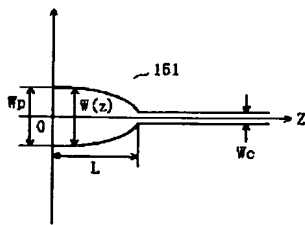
【図1】



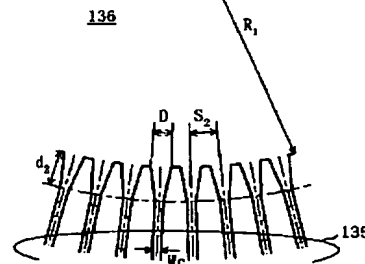
【図3】



【図6】

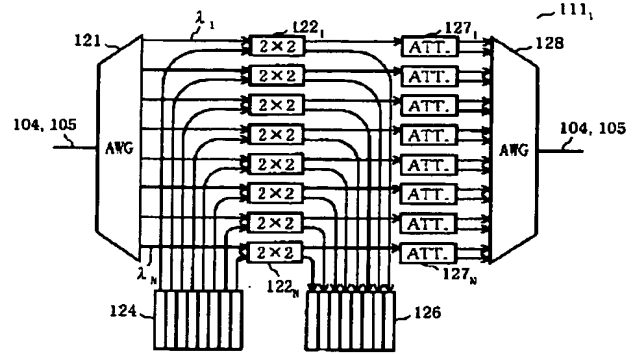


【図4】

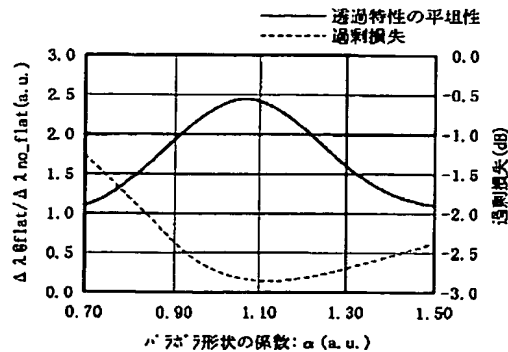
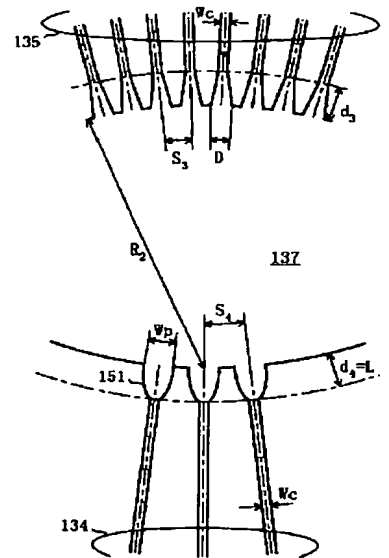


【図7】

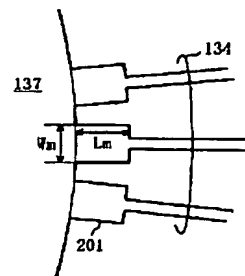
【図2】



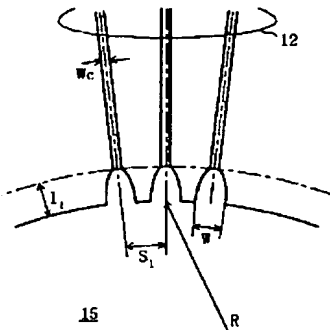
【図5】



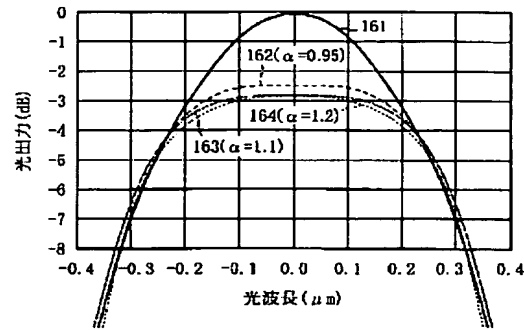
【図10】



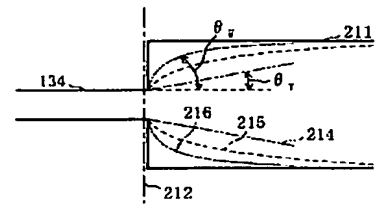
【図8】



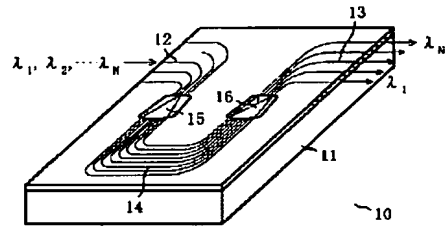
【図9】



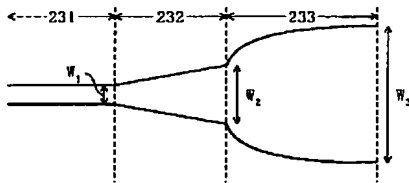
【図11】



【図13】



【図12】



【図14】

